

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ
И ОБЕЗЖИРИВАНИЯ ПИЩЕВОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО МЯСНОГО СЫРЬЯ

Либерман С.Г., Мизерецкий Н.Н., Сницарь А.И.,
Файвишевский М.Л., Шевкунов К.Ф.

В течение 1962–1969 гг. нами были разработаны и проверены в производственных условиях математические модели процессов обезвоживания и обезжиривания пищевого и технического мясного сырья как в периодическом, так и в непрерывнодействующем оборудовании /1, 2, 3/.

Ниже приводятся обобщенные результаты этих исследований.

Изучались технологические процессы обезвоживания и обезжиривания пищевого и технического мясного сырья. Сырье в процессе обработки подвергалось воздействию температуры, давления и т.п. Для каждого отдельного технологического процесса имеется свой комплекс основных факторов, вполне определяющий ход процесса и его конечный результат.

Изменение концентрации (dx) какого-либо компонента (A) в сырье в процессе обработки под действием комплекса факторов (π) будем считать прямо пропорциональным произведению концентрации (x) компонента (A) в сырье на комплекс (π) и продолжительность ($d\tau$) обработки сырья в оборудовании, т.е.

$$dx = -k x \pi d\tau \quad /1/$$

где K – коэффициент пропорциональности.

Решая уравнение /1/ в предположении, что K и π не зависят от τ , вводя обозначения:

$$y = k \pi \tau \quad /2/$$

$$\exp(-y) = \Pi(y) \quad /3/$$

$$R(y) = 1 - \Pi(y) \quad /4/$$

$$\eta = 100 R(y) \quad /5/$$

$$\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = L\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \quad /6/$$

$$y = L\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \quad /7/$$

$$\frac{1}{k \pi} = \mathcal{D}(y) \quad /8/$$

будем иметь:

$$x_2 = x_1 \cdot \Pi(y) \quad /9/$$

$$\tau = L\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \cdot \mathcal{D}(y) \quad /10/$$

Если для обозначения произведения (x_2 , τ и т.п.) ввести символ γ , для обозначения первого сомножителя (x_1 , $L\left(\frac{x_1}{x_2}\right)$ и т.п.) - символ α и для обозначения второго сомножителя ($\Pi(y)$, $\mathcal{D}(y)$ и т.п.) - символ β , то выражения /9/ и /10/, могут быть обобщены в виде формулы:

$$\gamma = \alpha \cdot \beta \quad /11/$$

В табл. I приведены конкретные выражения для γ и $\gamma = \alpha \cdot \beta$ применительно к исследованным технологическим процессам обезвоживания и обезжиривания пищевого и технического мясного сырья. В этих выражениях приняты следующие обозначения:

0,6 - коэффициент пропорциональности $\frac{\text{кг}}{\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}}$

10^{-6}	- коэффициент пропорциональности $\frac{\text{м}^3}{\% \cdot \text{н} \cdot \text{ч}}$
Δt	- разность между температурой теплоносителя t_T и средней температурой сырья, $\Delta t = t_T - (t_1 + t_2) : 2$
t_1 и t_2	- начальная и конечная температуры сырья, $^{\circ}\text{C}$
F	- поверхность теплообмена, м^2
G	- единовременная загрузка сырья по сухому остатку, кг
W_1 и W_2	- начальная и конечная влажность сырья, в долях единицы
τ	- продолжительность процесса, ч
X_1 и X_2	- начальная и конечная жирность сырья в долях единицы
f	- коэффициент активности реагента в долях единицы
c	- концентрация сухого реагента в % к весу сырья
p	- давление пара в автоклаве, $\text{н}/\text{м}^2$
d	- диаметр отверстий выходной решетки волчка, м
η	- степень обезвоживания или обезжиривания в % к исходному влаго- или жиросодержанию

Значения функции $\Pi(y)$ приведены для интервала $0 \leq y \leq 1$ в табл. 2. Например, если $y = 0,33$, то $\Pi(0,33) = 0,72$. Для нахождения $\Pi(y)$ в интервале $1 \leq y \leq 10$ служит график $\Pi(y) = f_1(y)$ (рис.1). Например, если $y = 3$, то $\Pi(3) = 0,05$. Для нахождения значений функций $R(y)$ и η в

интервале $I \leq y \leq 10$ служат графики $R(y) = f_2(y)$ и $\eta = f_3(y)$ (см. рис. 1). Например, если $y = 3$, то $R(3) \stackrel{\text{а } \eta = 95\%}{=} 0,95$. Для нахождения значений функции $L(\frac{x_1}{x_2})$ в интервале $I \leq \frac{x_1}{x_2} \leq 2$ служит табл. 3. Например, если $\frac{x_1}{x_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{X_1}{X_2} = 1,43$, то $L(1,43) = 0,36$. Для нахождения значений W_2, X_2, τ служит номограмма $\gamma = \alpha \cdot \beta$ (рис. 2). Например, если $W_1 = 0,4$, а $X_1 = 0,5$, то при $\Pi(y) = 0,5$ имеем $W_2 = 0,2$ и $X_2 = 0,25$. Если $L(\frac{W_1}{W_2}) = 0,33$, а $\mathcal{D}(y) = 0,42$, то $\tau = 0,138$ часа.

Представленные в табл. 1 аналитические зависимости дают возможность, с помощью данных табл. 2 и 3, а также графиков $\Pi(y) = f_1(y)$, $R(y) = f_2(y)$, $\eta = f_3(y)$ и номограммы $\gamma = \alpha \cdot \beta$ (см. рис. 1 и 2) определять конечную влажность W_2 и жирность X_2 сырья, продолжительность процесса τ , а также находить степень обезвоживания или обезжиривания сырья η в зависимости от начальных условий на любой стадии исследованных нами технологических процессов.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что уравнение $dx = -kx \pi d\tau$ может быть использовано в качестве математической модели для описания закономерностей процессов обезвоживания и обезжиривания пищевого и непищевого мясного сырья.

2. Для всех исследованных в эксперименте процессов найдены конкретные выражения для комплекса факторов (Π).

3. Предложены табличные, аналитические и номографические методы расчета кинетики тепло- и массообмена при обезвоживании и обезжиривании пищевого и технического мясного сырья.

Таблица I

Технологический процесс	Элементы математической модели		Математическая модель	
	y	$\mathcal{D}(y)$	$y = \alpha \cdot \beta$	
			$x_2 = x_1 \cdot \Pi(y)$	$\tau = L\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \cdot \mathcal{D}(y)$
Обезвоживание в аппаратах линии производства сухих животных кормов ВНИИМПа	$0,6 \frac{\Delta t \cdot t \cdot F}{t_2 G} \tau$	$\frac{t_2 G}{0,6 \Delta t t \cdot F}$	$W_2 = W_1 \cdot \Pi(y)$	$\tau = L\left(\frac{W_1}{W_2}\right) \cdot \mathcal{D}(y)$
Обезвоживание и обезжиривание в аппаратах линии обезжиривания кости ВНИИМПа	$0,6 \frac{\Delta t X_1 F}{X_2 G} \tau$	$\frac{X_2 G}{0,6 \Delta t X_1 F}$	$W_2 = W_1 \cdot \Pi(y)$	$\tau = L\left(\frac{W_1}{W_2}\right) \mathcal{D}(y)$
Обезжиривание животного жирсырья методом щелочного гидролиза под давлением в автоклаве	$10^{-6} \frac{f_{cp}}{d} \tau$	$\frac{d}{10^{-6} f_{cp}}$	$X_2 = X_1 \cdot \Pi(y)$	$\tau = L\left(\frac{X_1}{X_2}\right) \cdot \mathcal{D}(y)$

Значения функции $\Gamma(y)$

Т а б л и ц а 2

y	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
0,1	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83
0,2	0,82	0,81	0,80	0,79	0,79	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75
0,3	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68
0,4	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61
0,5	0,61	0,60	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55
0,6	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50
0,7	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45
0,8	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41
0,9	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37
1,0	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34

Значения функции $L\left(\frac{x_1}{x_2}\right)$

Т а б л и ц а 3

$\frac{x_1}{x_2}$	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
I,0	0,00	0,0I	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
I,1	0,10	0,1I	0,1I	0,12	0,13	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17
I,2	0,18	0,19	0,20	0,2I	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
I,3	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,3I	0,32	0,32	0,33
I,4	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40
I,5	0,4I	0,4I	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
I,6	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,5I	0,5I	0,52	0,53
I,7	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58
I,8	0,59	0,59	0,60	0,60	0,6I	0,62	0,62	0,63	0,63	0,64
I,9	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,69
2,0	0,69	0,70	0,70	0,7I	0,7I	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

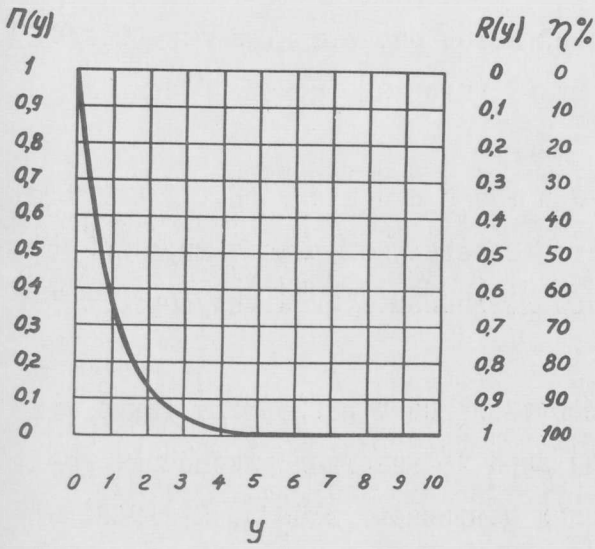


Рис. I График $\eta = f_3(y)$

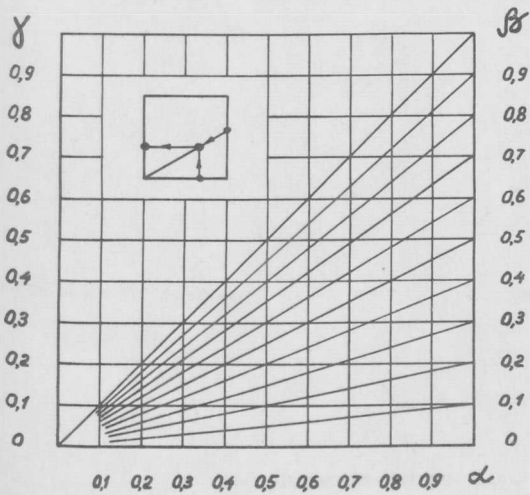


Рис. 2 Номограмма $\gamma = \alpha \cdot \beta$

ЛИТЕРАТУРА

1. Либерман С., Сницарь А., Мизерецкий И. Графо-аналитический метод расчета кинетики тепло- и массообмена при выработке сухих животных кормов. "Мясн. индустр. СССР", 7, 1967.
2. Либерман С., Мизерецкий И., Шевкунов К. Аналитический метод определения выхода жира при гидролизе мездрового сырья под давлением. "Мясн. индустр. СССР"; 9, 1968.
3. Шевкунов К. Исследование и разработка технологического процесса извлечения жира из животного жирсырья методом щелочного гидролиза под давлением. МТИММП, М, 1968.